



数据中心液冷故障检测与故障报警

余荣东

伊索温度技术（大连）有限公司

技术总监

数据中心液冷故障检测与故障报警

余荣东

伊索温度技术（大连）有限公司
技术总监

目录



一. 液冷故障检测

二. 故障报警

三. 故障响应

四. 实现智能监控的实用建议

一.液冷故障检测

多维度检测与指标

液冷故障检测的关键指标与技术

1

液体泄漏检测

采用电阻式漏液传感器和湿度传感器，实时监测是否存在液体泄漏情况。当检测到液体泄漏时，可能会引发短路、硬件腐蚀等故障。

2

水力热力检测

利用流量计、压力传感器和温度传感器，对冷却液的水力热力参数进行监控。流量下降可能由泵故障或泄漏引起，压力异常可能是堵塞导致的，温度飙升则会影响设备正常运行。

3

冷却液品质检测

通过溶液在线浓度计和电化学水质分析（PH，电导率，浊度计等）技术，评估冷却液的品质状况。冷却液老化、酸化、缓蚀剂失效以及产生沉淀等问题，都会影响冷却效果。

4

泵与电机检测

采用电流检测和功率分析的方法，监测泵与电机的工作状态。电机过载、电压暂降、谐波畸变、缺相运行等异常情况，都会影响泵的正常运行。

5

整机性能检测

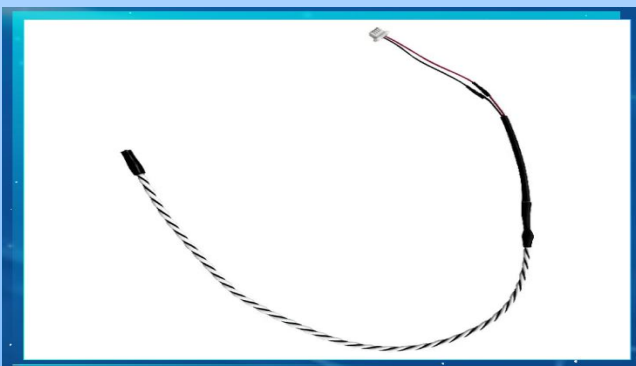
借助热成像、能耗分析和日志分析技术，评估CDU的整机性能。冷板堵塞、换热效率下降以及隐性故障等问题，都需要及时发现和处理。

1. 泄漏检测技术

1

管道连接处：这些位置的接头和密封件最为脆弱；
 机箱底部：泄漏的液体会因重力作用自然积聚。这种安装灵活性可实现全面覆盖，确保任何泄漏都能在最早阶段被识别。

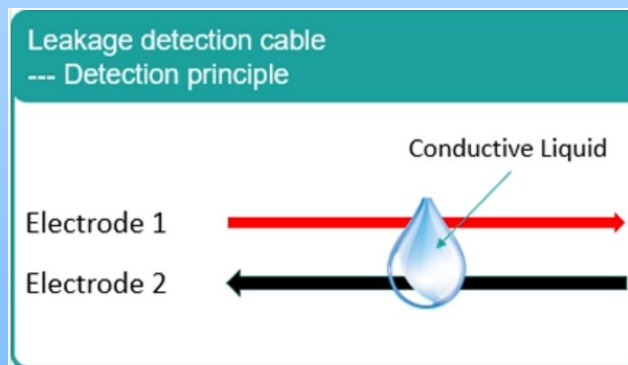
电阻式泄漏传感器部署位置



2

液冷泄漏检测传感器电缆的工作原理简单而巧妙。当冷却液发生泄漏时，液体充当了电缆内部的电极之间的导电桥。这会降低电路电阻，随即被监控系统检测为泄漏事件。这种方法提供了一种实时的被动检测机制，不依赖于活动部件或复杂传感器。它确保了即使是微小的泄漏也能在损害系

电阻式泄漏传感器工作原理



3

华为、英伟达等厂商系统中，泄漏报警能精确到具体位置，如“冷板”或“歧管”。

不同厂商泄漏报警的精确度

2.水力热力检测之流量与压力监控

01

传感器安装位置

在冷却液分配单元和管路中安装传感器，以准确监测流速和液压。

02

流速骤降可能的原因

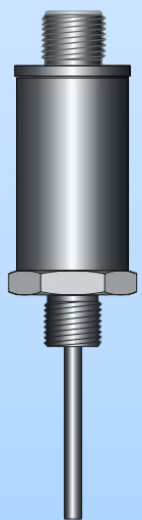
可能意味着泵故障或管路堵塞，影响冷却液的正常流通。

03

压力异常可能指示的问题

可能指示泄漏或管路堵塞，导致压力出现不正常的变化。

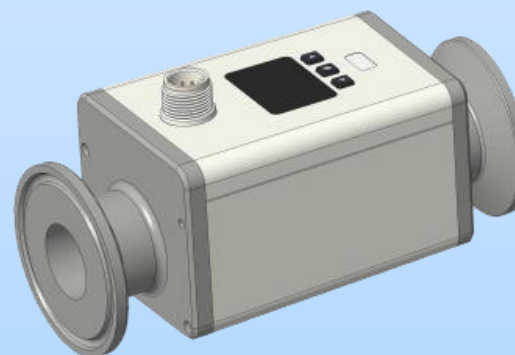
温度/压力/流量传感器/PH/电导率/浊度计



建议使用G1/4或G1/2螺纹并带安装套管，M12或赫斯曼电气连接，采用密封圈密封，严禁使用生胶带/密封胶密封；传感器参与逻辑控制，建议2N，一用一备。



建议过程连接使用7/16-20 UNF内螺纹带顶针，G1/2或G1/4，使用G1/2或G1/4螺纹时需带手阀，M12或赫斯曼电气连接，采用密封圈密封，严禁使用生胶带/密封胶密封；产品出现故障能在不停机和不需要排液情况下在线更换，传感器参与逻辑控制，建议2N，一用一备。



建议使用直通式超声波或电磁流量计，无阻流，无损耗件，不锈钢卡盘连接或法兰连接，在保证安装强度和密封性前提下，根据实际情况选用合适连接方式，需兼顾拆装方便和提高运维效率。传感器参与逻辑控制，建议2N，一用一备。



建议使用50.5不锈钢卡盘连接(卡盘连接安装空间小，同时拆装方便，提高运维效率)建议支管安装，安装管道两边增加阀门，校准时关闭两边阀门再拆卸校准，主管跟可正常运行，做到校准时不需停机，不影响运行

水力热力检测之温湿度监测

1

温度传感器部署位置

在服务器主板、CDU和机柜空间部署高精度温度传感器，如热敏电阻、RTD。

2

液冷故障时温度变化特点

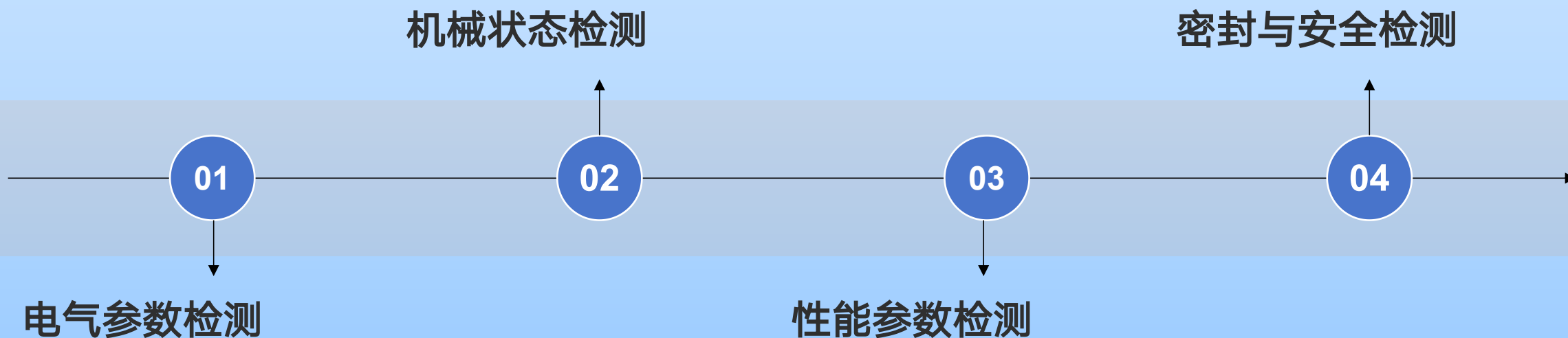
液冷故障时，GPU温度可能以每分钟 20°C 的速率上升，需及时监测。

3

湿度传感器的作用

可检测因冷却液蒸发导致的局部湿度异常，作为泄漏的辅助判据。

4.泵与电机检测



泵与电机检测之电气参数检测详情

运行电流监测

功能目的：监测实时电流，识别过载、堵转或变频器故障。典型阈值/标准：额定电流的 $\pm 10\%$ 以内。实测超过额定值，系统会触发告警。

01

电压与功率监测

功能目的：监测电压波动与输入功率，防止设备因过压/欠压损坏。典型阈值/标准：额定电压的 $\pm 10\%$ 。

02

电机绕组检测

功能目的：测量绕组直流电阻与绝缘电阻，判断匝间短路、开路或绝缘老化。典型阈值/标准：三相电阻偏差 $< 2\%$ ；绝缘电阻冷态下 $\geq 1\text{M}\Omega$ ；CDU整机测试通常要求 $\geq 100\text{M}\Omega$ 。

03

泵与电机检测之机械状态检测详情

01.

振动分析

功能目的：监测轴承、叶轮等旋转部件的机械状态，预判磨损、不对中、不平衡等故障。
典型阈值/标准：依据ISO 10816等标准，通过与基线数据比较判断。

02.

温度监测

功能目的：通过监测电机壳体或轴承温度，避免因过载、散热不良导致的绝缘损坏。
典型阈值/标准：依据电机绝缘等级（如B级130°C，F级155°C）。

03.

转速监测

功能目的：确保泵的转速与设定值一致，是闭环控制的关键反馈信号。
典型阈值/标准：设定转速的 $\pm 2\%$ 以内。

泵与电机检测之性能参数检测详情

01

流量监测

功能目的：直接反映泵的供液能力，判断是否出现堵塞、汽蚀或泵体损坏。典型阈值/标准：设定流量的 $\pm 5\%$ 。

02

压力监测

功能目的：判断泵的扬程是否达标、管路有无堵塞或泄漏。典型阈值/标准：具体值依系统而异，低压可能触发补液，高压可能导致熔断保护。

03

功率与效率

功能目的：评估泵组能效，判断是否处于高效区运行。典型阈值/标准：设计点效率通常要求 $\geq 70\%$ 。

泵与电机检测之密封与安全检测详情

01

泄漏检测

功能目的：检测泵体机械密封是否失效，防止冷却液泄漏。典型阈值/标准：高灵敏度，如0.1mL/min。

02

电气安全

功能目的：确保电机接地可靠，保障运维人员安全。典型阈值/标准：接地电阻 $<0.1\Omega$ 。

5.整机性能检测



- 1 基于热成像的检测指标
- 2 能耗分析指标
- 3 日志分析指标
- 4 典型故障对应的整机性能检测表现

热成像检测指标

涵盖板式换热器温差、关键部件热点及整体热平衡

1

板式换热器温差检测

检测一次侧（冷却水）与二次侧（冷却液）的进出口温差。正常情况下，冷热两侧温差应保持在合理范围内，若温差过小（如 $<1 - 2^{\circ}\text{C}$ ）或温差分布不均（热成像显示局部过冷/过热），则是典型故障，可能预示换热器堵塞或内部短路。

2

关键部件热点检测

检测泵体轴承、电机壳体、管路弯头及阀门等关键部件。若局部温升异常（如某点比周围高 $>10^{\circ}\text{C}$ ），可能指示泵轴承磨损、电机散热不良或管路堵塞等问题。

3

整体热平衡检测

对比热成像图中换热器表面、管路及环境温度。若表面温度与流体温度严重偏离（如散热器表面温度远低于进口温度），可能由表面结垢或内部气阻导致。

能耗分析指标

包含系统总能效比、泵功耗与流量比及补液与能耗关联

01

系统总能效比（EER）分析

系统总能效比（EER）即制冷量（kW）与总输入功率（kW，包括泵、风机、控制等）的比值。EER是衡量系统能量转换与利用效率的重要指标。若EER低于设计值或持续下降（如每月下降>5%），提示冷却能力下降或部件老化。

02

泵功耗与流量比分析

泵功耗与流量比即泵输入功率（kW）与输出流量（L/min）的比值。该比值可以反映泵的工作效率和管路阻力情况。若比值异常升高（如超出初始值15%），表明管路阻力增大（如过滤器堵塞、阀门未全开）或泵效率降低。

03

补液与能耗关联分析

监测补液频率和单次补液量。若补液频繁且伴随泵功耗波动，可能存在系统微漏，导致气进入影响泵效率。

日志分析指标

涉及长期性能退化、隐性故障模式及多参数关联分析

01

长期性能退化分析

- 分析进出水温度、流量、泵速等关键参数（如过去3 - 6个月）。若相同负载下，出水温度持续上升（如每月上升0.5°C），提示换热器或冷板堵塞，导致冷却效果逐渐下降。

02

隐性故障模式识别

- 识别特定工况下的异常。例如：低负载时频繁低压告警，可能预示泵汽蚀或过滤器脏堵；温度波动与泵速波动同步，可能由冷板流道不稳定或气塞引起。这些隐性故障往往难以通过常规检测方法发现。

03

多参数关联分析

- 关联多个日志参数。例如：流量下降 + 泵速增加 + 出水温度上升 → 管路堵塞；流量下降 + 泵速下降 + 出水温度上升 → 泵故障或转速控制异常。通过多参数关联分析，可以更准确地判断系统故障原因。

典型故障检测表现

展示不同故障类型在热成像、能耗分析及日志分析中的特征

01

冷板堵塞

热成像特征：对应服务器区域温度偏高，冷板表面温差大。能耗分析特征：整机能耗比（EER）下降，泵功耗与流量比升高。日志分析特征：相同负载下，二次侧出水温度上升，流量下降。

02

换热效率下降

热成像特征：板换表面温度分布不均，整体温差小。能耗分析特征：制冷量下降，EER下降，能耗上升。日志分析特征：一次侧与二次侧温差减小，补液可能频繁。

03

隐性故障（如微漏/气阻）

热成像特征：局部热点，可能有温度波动。能耗分析特征：泵功耗波动，补液量异常增加。日志分析特征：低负载时低压告警，温度与泵速波动同步。

二.故障报警

故障报警严重级别划分



故障的严重级别

严重级别1（关键）的表现及影响

如大规模泄漏、CDU完全失效，可能导致集群宕机，影响业务正常运行。

严重级别2（高）的表现及影响

如部分冷却故障，影响20 - 100块GPU，对业务性能造成一定影响。

严重级别3/4（中/低）的表现及处理

如单点温度略高或单个传感器异常，系统会记录事件并纳入工单系统，在维护窗口期处理。

严重级别1（关键）的报警与处理

系统会立即通过红色警报、短信、电话通知值班工程师，并可能自动触发紧急关机协议。

严重级别2（高）的报警与处理

系统会在15分钟内通过黄色警报通知工程师，并尝试自动负载迁移。

智能平台自动化响应



■ 硬件联动机制

发生泄漏时，系统能在秒级内与CDU联动，自动切断故障区域的液流并隔离服务器电源，防止损害扩大。



■ 性能节流功能

在冷却能力下降但未完全失效时，系统可自动触发GPU动态频率与电压调节（如将H100功率从700W降至400W），减少发热量，为运维人员争取维修时间。



■ 信息上报功能

所有报警和响应动作都会被记录，并通过统一界面（如NVIDIA的BCM、华为的iBMC、联想的XClarity Controller）直观展示，方便运维人员快速查看和处理。

三.故障响应

自动保护、冗余切换与应急冷却

故障响应具体措施

01

自动保护

当检测到泄漏时，系统可自动关闭特定区域的阀门，隔离故障区域，防止泄漏进一步扩大，降低损失。

02

冗余切换

对于关键部件如泵，采用N + 1冗余设计。当主泵发生故障时，备用泵能够立刻无缝接管工作，确保冷却系统不间断运行。

03

应急冷却

在极端情况（如CDU完全失效）下，专利技术设计了应急方案：关闭液冷通路，启动冷风机进行临时散热，同时用残液收集装置回收管道中的冷却液，避免浪费和污染。

四.实现智能监控的实用建议

升级检测能力、关注供电质量与拥抱智能平台

01

升级“血液检测”能力

除了基本的流量、压力和温度监控，考虑引入冷却液品质传感器。这能帮你洞察冷却液的实时状态，在它“生病”影响散热前就安排维护，保障CDU的稳定运行。

02

关注“神经中枢”的供电质量

在监控列表里加入电能质量分析。这能帮你识别那些会导致泵效下降的电压暂降和谐波畸变，保障CDU动力系统的稳定，提高冷却效率。通过电能质量分析，在发生电压暂降（可能导致泵转速下降）或谐波畸变（可能导致电机过热）前捕捉异常，保障CDU动力系统的稳定。

03

拥抱统一的智能运维平台

利用支持开放API和标准协议（如MODBUS/SNMP）的智能平台，将CDU的监控数据整合进你现有的数据中心基础设施管理（DCIM）系统中。所有报警和响应动作都会被记录，并通过统一界面（如NVIDIA的BCM、华为的iBMC、联想的XClarity Controller）直观展示，方便运维人员快速查看和处理，帮助运维人员快速定位“未病”，及时进行处理。

先进检测技术探索

超声波扫描检测的优势

对液冷板进行出厂或定期无损检测，可以发现微米级的内部裂纹，从源头杜绝泄漏隐患。

01

专利技术的检测原理

通过图像处理和神经网络分析液冷系统目标区域，实现早期故障识别。

02

运维平台的故障定位技术

构建数字孪生或知识图谱，将硬件状态与作业任务关联，实现故障的分钟级根因定位。

03

Thank you

