

液冷型数据中心建设项目的工程技术与质量管理

陈 波

南兴云计算有限公司 广东东莞 523000

摘 要: 本文聚焦于液冷型数据中心, 探讨其工程技术与质量管理, 详细阐述土建配套工程、建筑机电工程、专用液冷系统工程的各项技术要点与相互衔接。从质量控制、质量验收以及竣工、联调联测及试运行等阶段提出标准和措施, 为工程建设提供专业指导。

关键词: 液冷型数据中心; 工程技术; 质量管理; 节能减排; 高可靠性

引言

《绿色节能液冷数据中心白皮书》由国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟、中科曙光和其子公司曙光数创于 2023 年联合主编, 是首部详解数据中心节能技术与标准的手册型指导文件。它对液冷型数据中心的节能设计、工程建设, 以及设施与设备验收等建设环节给出了崭新的理念与标准的案例, 解决了当前液冷规范、标准缺失的问题, 将有效推动液冷的应用与发展。本文着重介绍液冷型数据中心建设工程中的土建、电气及机电等相关专业的配套施工技术和质量控制要点。

1 液冷技术概述

1.1 液冷技术的发展及现状

液冷技术近年来开始流行应用于数据中心行业, 但其原理并不是技术革命。液冷技术在 2018 年才被收录到《计算机科学技术名词》(第三版)中, 其定义为“使用流动液体将计算机内部元器件产生的热量传递到计算机外, 以保证计算机工作在安全温度范围内的一种冷却方法。”数据中心冷却系统分为一次冷却侧(一次冷却侧需要大型水冷机、水泵、水塔、管道等设备进行辅助, 大型系统的安装与维护都比较复杂)和二次冷却侧(是通过一次循环后再通过空气处理单元等控制系统继续进行冷却), 通常提到的液冷都用于二次冷却侧, 而一次冷却侧多采用传统冷水机组模式(图 1)。数据中心传统的制冷模式为风冷式, 通过封闭的冷(热)通道, 利用精密空调强制送风或列间空调等设施把服务器或其它设备产生的热量通过设计的气流组织循环降温, 是服务器等设备处于允许的的温湿度环境(图 2、图 3)。众所周知, 常温下液体的比热容是空气的 20-30 倍, 用液体代替空气

直接对服务器或其它设备进行集中降温, 可以极大地降低能量损耗, 提高散热效率。随着 AI 技术的爆炸性应用, 大模型等科技和产业技术不断升级, 以及计算机设备贮存、计算能力和运算需求不断提升, 单机柜的功率要求不断加大, 采用风冷调节温度的技术天花板掣肘了数据中心的能耗指标。由此可见, 液冷技术应用于数据中心建设中, 是十分必要, 也非常迫切(图 4)。



图 1 运行中的某冷水机组车间(一次冷却侧)



图 2 运行中的精密空调间(二次冷却侧)



图3 运行中的数据中心模块间(下送风)



图4 建设中的某液冷数据中心模块间一角

1.2 液冷技术的类型及特点

目前常用的液冷技术有三种: 板换式、喷淋式和浸没式, 主要区别体现在冷媒进行热交换方式的不同。

1.2.1 板换式液冷

板换式液冷的原理是二次侧冷冻管道通过末端的金属盘片与服务器或其它设备发热元件直接接触完成热交换, 然后由回水管将热量输送回二次侧制冷设备, 从而完成一次循环来完成热交换。这种方式是一次侧水冷和二次侧液冷的组合技术。该技术需要在机柜内安装专用液冷服务器, 在CPU、GPU 等高能耗部件处设置液冷冷板。对于主板、存储等其他非高能耗元件, 仍采用冷通道进行风冷散热。由于目前大部分数据中心的风冷均采用冷(热)通道的做法, 板换式液冷技术不会改变数据中心机房整体布局, 不需要调整承重, 结构不用做太大的改变, 模块间仍然处于常规的工作环境中。这种方式最适用于目前一些传统型数据中心的改造, 且投资较少, 效果显著, 是本文着重介绍的内容。

1.2.2 喷淋式液冷

喷淋式液冷是通过喷淋方式将冷却液直接喷在服务器

或其它设备散热元件上。这项技术在国内应用较少, 本文不做详细论述。

1.2.3 浸没式液冷

浸没式液冷是指将服务器或其它设备浸泡在专用冷却液中, 利用液体的高比热容特性, 通过液体流动循环带走主机产生的热量。按照目前的应用, 根据散热过程中形态的不同, 液冷又分为单相液冷和相变液冷两类。机房需要重新布局 and 分配, 荷载需要大幅提高, 结构成本会提高, 服务器或其它设备也必须专门生产, 基建投资(不含机柜和服务器购置)比常规做法高 20~40%。技术总体来讲, 浸没式液冷以其极低的对流热阻和超强的散热效果, 在高端市场具有一定的应用比重。

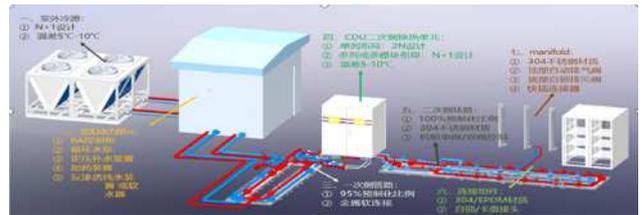


图5 板换式液冷系统原理图

2 工程技术

2.1 主要依据

数据中心设计规范 GB50174-2017

建筑结构设计常用数据—钢筋混凝土结构、砌体结构、地基基础 12G112-1

数据中心液冷系统技术规程 T/CECS 1722-2024

建筑结构可靠性评定标准 T/CECS 1592-2024

数据中心基础设施施工及验收规范 GB 50462-2024

2.2 土建配套工程

在确定功能区域时, 应合理划分出以下区域: 液冷机柜、液冷设备、电力设备、监测中心等。机房的布局应按照液冷机柜的尺寸设计, 满足散热和维护要求。液冷设备间需设计设备的摆放位置和管道连接方式。空间需求取决于设备规模, 每 1MW 的设备约需 30--50m² 的空间。液冷机柜及相关设备的恒重。设计活荷载不小于 12kN/m²。应考虑施工时可能产生的活荷载。选用 C30 以上的混凝土确保整体结构的强度。梁柱连接节点增加钢筋分布以提高结构的刚度和抗震性能。地面和墙面需进行防水处理。防水采用卷材涂料相结合。地面找坡排水, 并安装漏水及漏水告警装置。管道设专用通道。穿过楼板和墙体时需安装套管, 套管与管道之

间填充防火防水密封材料。采用蓄冷技术,建筑物内一层地下预留蓄冰空间 $20\text{m}^3/\text{MW}$, 根据需求做二次深化设计。

2.3 建筑机电工程

电气安装。采用双路市电接入和 UPS 备用电源系统。暖通系统一次冷却采用水冷设备,制冷量根据数据中心的散热需求确定。水管系统须确保密封。水质达到设计运行标准。给排水系统的压力应至少达到 0.2MPa 。消防用水系统设计符合相关规范,消防水池容量则依建筑大小及火灾持续时间确定。管路安装后需进行压力测试。消防设备采用七氟丙烷灭火系统,系统储藏容器的填充量应满足设计要求。气体喷头和火灾自动报警器布置需合理。漏水检测系统达到监测精度。监控系统应具备实时数据展示、报警和历史数据保存功能,数据存储周期至少为 1 年。光缆和电缆的敷设十分关键,管道直径根据线缆数量和规格确定,管道弯曲处设有人孔。柴油发电机组作为备用电源,容量根据主要负荷确定。发电机组启动时间不超过 30 秒,联机运行状态平稳顺畅。选择货运电梯,载重能力应根据设备运输需求确定。

2.4 专用液冷系统工程

液冷系统选择需根据数据中心的散热需求匹配最适合的设备。对于机柜式 CDU(冷却分配单元),其制冷能力应满足机柜的功率需求。冷水机组的制冷能力应按数据中心的总热负荷确定,保持适当冗余度。机房环境温度应维持在 $18 - 27^\circ\text{C}$,相对湿度控制在 $40\% - 60\%$ 。液冷系统的工作压力不应超过 1.0MPa 。液冷管道需使用不锈钢管,焊接采用氩弧焊工艺,探伤检测比例不得低于 10% 。安装完成后进行压力测试和泄漏检测。单个液冷模块试运行需保证至少连续 72 小时的运行时持续间,过程中监控温度、压力和流量等参数,冷却液流速偏差和温度波动幅度控制在设计要求范围内。最后整个液冷系统进行整合,通过调节各设备参数,确保系统处于最佳运行状态。

3 质量管理

3.1 质量控制

3.1.1 土建配套工程

钢筋入场检查需核对质量证明文件,并进行批次抽样检验。在钢筋加工中,弯折角度和长度的偏差需控制在规定范围内。模板的平整度偏差不得超过 2mm 。拆模时,混凝土强度需满足设计要求。原材料应按照开工前的配合比报告进行配置。孔洞位置和尺寸偏差控制在 10mm 以内。预埋件位

置偏差不超过 5mm ,拉拔试验合格。线槽水平偏差和垂直偏差超标。控制设备基础的标高偏差、尺寸误差。设备安装前,基础混凝土强度需达设计标准的 75% 以上。油罐焊缝进行 20% 以上无损检测,确保质量。油罐安装后进行充水测试,水位达到设计标准后保持 48 小时无泄漏。

3.1.2 建筑机电工程

电气设备确保配电箱和柜、箱体牢固安装,且运作稳定可靠。接地电阻与防雷接地冲击电阻符合规范要求。灯具的安装高度和开关插座安装位置合适,偏差不超过 $\pm 5\text{mm}$ 。空调设备减震设备安装稳固。制冷剂注入量符合设备标准。风机盘管位置偏移不超过 $2\text{mm}/\text{m}$ 。冷凝水管道的坡度要确保水分顺畅排出。给排水卫生设备安装高度符合设计规格。消防栓试射时水柱长度不少于 10m ,消防水泵接合器安装位置准确,阀门开关灵敏。气体消防灭火剂存储容器表面无变形缺陷,压力指示正常。操作手柄应安装在便于操作的位置。系统调试过程中模拟火灾信号,30 秒内应启动并完成协同控制。监控和智能控制系统传感器安装位置科学合理,测量准确性符合标准。数据传输准确率保持在 99% 以上。远程启动或暂停控制设备的响应时间不超过 5 秒。通信管道工程走向平直,接口严密无渗漏。光缆松弛符合规范要求。柴油发电机组外观无损,组件连接稳固。无负载运行测试时间不少于 2 小时。电梯轿厢导轨垂直度偏差不超过 $0.6\text{mm}/5\text{m}$ 。限速器、安全钳等安全防护设备运作稳定可靠。

3.1.3 专用液冷系统工程

在设备厂验阶段,确保外观完好,且性能参数完全符合合同要求。到货后,核对设备数量、型号符合合同条款,确保附带文件齐全。液冷设备安装与测量时,安装位置精确,密封效果良好。测试涵盖压力、流量、温度等方面,各项数据完全符合设计规格。在设备试运行与验收阶段,需实时监控运行参数。

3.2 质量验收

3.2.1 土建配套工程

基础验收阶段,需要对基础尺寸、高度和混凝土强度进行检查,以确保符合设计要求。基础混凝土样品的抗压强度平均值需达到或超过设计强度等级视为合格。在主体结构验收期间,对建筑结构的钢筋、混凝土和砌体等部分进行检查。在装饰工程验收中,地面平整度的偏差控制在 $2\text{mm}/\text{m}$ 以内,墙体垂直度偏差不超过 $3\text{mm}/\text{m}$,门窗开启和关闭应

灵活且密封严密。

3.2.2 建筑机电工程

在电气系统验收时,检查电气设备接线的稳固性、接地可靠性和绝缘电阻值。系统的电力支持稳定可靠。在空调系统验收中,制冷效果、制热性能、风量和噪音等关键参数符合设计规范。验收给排水系统,排水通畅,卫生设备安装准确无误。消防系统通过功能测试,确保火灾报警准确率在95%以上,消防水系统灭火性能符合标准。智能化系统,确保系统在72小时或更长时间内稳定运行。电梯系统,停层定位准确,报警灵敏。柴油发电机组,启动时间、峰值功率、供电质量和稳定性符合产品质量验收要求。

3.3 专用液冷系统工程

在液冷设备验收中,需仔细检查设备外观;检查其性能符合标准要求,确保运行参数正常。在管道系统验收中,液冷管道应通过压力检测、泄漏测试和清洁度检查。在系统的全面验收中,对散热效果、能源消耗和可靠性等指标进行综合评估。

3.3.1 竣工验收、系统联调联测及试运行

竣工验收由建设单位、设计单位、施工单位和监理单位共同完成。核查工程文件是否完整,包括施工图纸、设计变更资料、检测文件和验收记录。土建、机电和液冷系统进行联合调试,模拟数据中心在全负荷状态下的运行,测试各

系统的协作与稳定性。完工并验收合格后,试运行时间不少于十二个月。遇到问题及时反馈处理。

4 结论

本文剖析了液冷型数据中心建设项目中的工程技术与质量管理要点。在工程技术方面,土建配套工程、建筑机电工程和专用液冷系统工程设计、施工与安装要求明确,是所有分部分项工程的基础。上述三个专业工作达到质量要求,就能保障数据中心建设及运行体系的顺利运行。

参考文献:

- [1] 包云皓,陈建业,邵双全.数据中心高效液冷技术研究现状[J].制冷与空调,2023,23(10):58-69.
- [2] 曹学勤,张玲,王娟.液冷数据中心工程技术的发展与探讨[J].智能建筑与智慧城市,2024,(02):135-137.
- [3] 本刊编辑部.中国工程建设标准化协会标准《数据中心液冷系统技术规程》通过审查[J].工程建设标准化,2024,(04):43.
- [4] 刘宇.数据中心机房建设工程质量管理研究[J].工程技术研究,2024,9(08):155-157.

作者简介:

陈波(1969.09-)性别:男民族:汉族,籍贯:河南洛阳,学历:大学(本科),研究方向:建筑工程(通信类项目的新建、扩建及改造,如综合机楼、枢纽机房、数据中心等)。